



## Piezoactuator with multi-layer structure has separate contact wire projecting sideways from piezoactuator stack for each electrode layer

**Patent number:** DE19945933  
**Publication date:** 2001-05-17  
**Inventor:** CRAMER DIETER (AT); KAINZ GERALD (AT); SCHUH CARSTEN (DE)  
**Applicant:** EPCOS AG (DE)  
**Classification:**  
- international: **H01L41/047; H01L41/083; H02N2/04; H01L41/00; H01L41/083; H02N2/02;** (IPC1-7): H01L41/083; H01L41/047; H02N2/04  
- european: H01L41/047; H01L41/083  
**Application number:** DE19991045933 19990924  
**Priority number(s):** DE19991045933 19990924; WO2001DE00947 20010313

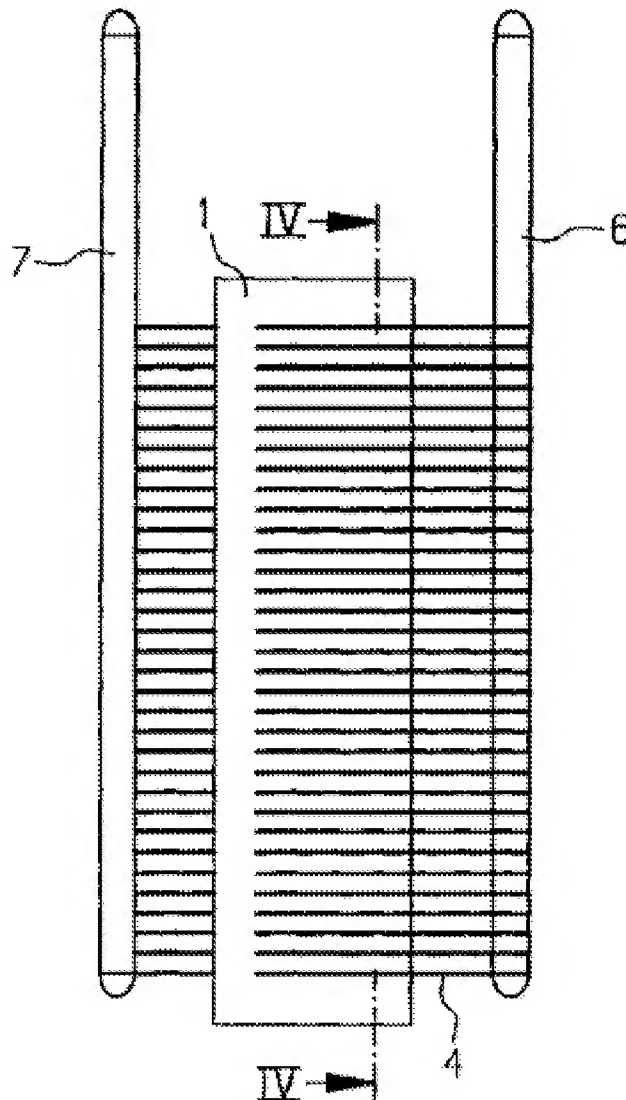
Also published as:

 WO02073656 (A3)  
 WO02073656 (A2)

[Report a data error here](#)

### Abstract of DE19945933

The piezoelectric actuator has a stack (1) of piezoelectric ceramic layers, alternating with electrode layers, contacted in alternation by metallisations on the opposing sides of the stack, for providing opposing electrical polarities. Each metallisation is connected to a respective contact wire (4), projecting horizontally outwards from the side of the stack, for mechanical and electrical connection to a common terminal element (6,7) for each polarity. An independent claim for a piezoactuator manufacturing method is also included.





19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Patentschrift  
10 DE 199 45 933 C 1

51 Int. Cl.7:  
H 01 L 41/083  
H 01 L 41/047  
H 02 N 2/04

21 Aktenzeichen: 199 45 933.9-35  
22 Anmeldetag: 24. 9. 1999  
43 Offenlegungstag: -  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 17. 5. 2001

DE 199 45 933 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:  
EPCOS AG, 81541 München, DE

74 Vertreter:  
Epping, W., Dipl.-Ing. Dr.-Ing., Pat.-Anw., 80339  
München

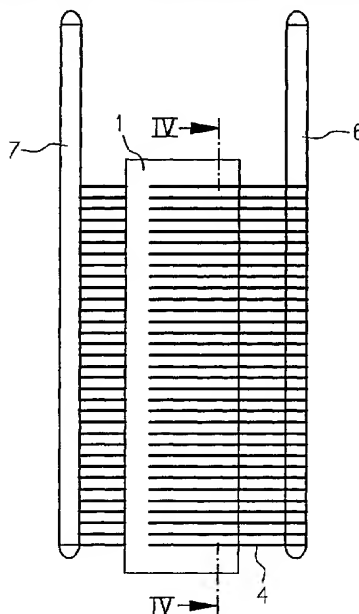
72 Erfinder:  
Cramer, Dieter, Graz, AT; Kainz, Gerald, Dr., Graz,  
AT; Schuh, Carsten, Dr., 85598 Baldham, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 196 46 676 C1  
US 48 399  
JP 0 6-23 24 664 A  
JP 04-2 87 984 A

54 Piezoaktor mit isolationszonenfreier elektrischer Kontaktierung und Verfahren zu dessen Herstellung

57 Piezoaktor in Vielschichtbauweise, bei dem piezoelektrische Keramikschichten (8) und Elektroden-schichten (3, 5) alternierend übereinander zu einem Stapel (1) angeordnet sind, und bei dem die Elektroden-schichten (3, 5) zur elektrischen Kontaktierung in alternierender Polarität mit seitlich am Stapel (1) aufgebrachtten Metallisierungen (2) verbunden sind, die wiederum elektrisch leitend mit einer Weiterkontaktierung verbunden sind, bei dem für jede Elektroden-schicht (3, 5) separat eine horizontale, an der jeweiligen Elektroden-schicht (3, 5) mindestens über einen Teil des Stapelumfangs entlanglaufende Metallisierung (2) aufgebracht ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden-schichten (3, 5) sich isolationszonenfrei über den gesamten Stapelquerschnitt bis zu den seitlichen Oberflächen des Stapels (1) erstrecken, daß jede Metallisierung (2) mit einem eigenen, horizontal über einen Teil einer Seite des Stapels (1) und seitlich darüber hinaus verlaufenden Kontaktierungsdraht (4) verbunden ist, und daß die Enden der seitlich überstehenden Bereiche der zu Elektroden-schichten (3, 5) gleicher Polarität gehörenden Kontaktierungsdrähte (4) mit einem gemeinsamen Anschlußelement mechanisch und elektrisch verbunden sind.



DE 199 45 933 C 1

Die Erfindung betrifft einen Piezoaktor in Vielschichtbauweise, bei dem piezoelektrische Keramikschichten (8) und Elektroden-schichten (3, 5) alternierend übereinander zu einem Stapel (1) angeordnet sind, bei dem die Elektroden-schichten (3, 5) zur elektrischen Kontaktierung in alternierender Polarität mit seitlich am Stapel (1) aufgetragenen Metallisierungen (2) verbunden sind, die wiederum elektrisch leitend mit einer Weiterkontaktierung verbunden sind, und bei dem für jede Elektroden-schicht (3, 5) separat eine horizontale, an der jeweiligen Elektroden-schicht (3, 5) mindestens über einen Teil des Stapelumfanges entlanglaufende Metallisierung (2) aufgebracht ist.

Ein Piezoaktor ist beispielsweise in der DE 196 46 676 C1 ausführlich beschrieben. Bei derartigen Piezokeramiken wird der Effekt ausgenutzt, daß diese sich unter einem mechanischen Druck bzw. Zug aufladen und andererseits bei Anlegen einer elektrischen Spannung entlang der Hauptachse der Keramikschicht ausdehnen. Zur Vervielfachung der nutzbaren Längenausdehnung werden monolithische Vielschichtaktoren verwendet, die aus einem gesinterten Stapel dünner Folien aus Piezokeramik (z. B. Bleizirkonat-titanat) mit eingelagerten metallischen Innenelektroden bestehen. Die Innenelektroden sind wechselseitig aus dem Stapel herausgeführt und über Außenelektroden elektrisch parallel geschaltet. Auf den beiden Kontaktseiten des bis zu ca. 40 mm hohen Stapels ist hierzu jeweils eine streifen- oder bandförmige, durchgehende Außenmetallisierung aufgebracht, die mit allen Innenelektroden gleicher Polarität verbunden ist. Zwischen Außenmetallisierung und elektrischen Anschlüssen wird häufig noch eine in vielen Formen ausführbare Weiterkontaktierung, z. B. ein Cukaschierter Kaptonfolienstreifen, aufgebracht. Legt man eine elektrische Spannung an die Außenkontaktierung, so dehnen sich die Piezofolien in Feldrichtung aus. Durch die mechanische Serienschaltung der einzelnen Piezofolien wird die Nenn-dehnung des gesamten Stapels schon bei relativ niedrigen elektrischen Spannungen erreicht.

Derartige Aktoren sind durch den mechanischen Hub einer erheblichen Belastung ausgesetzt. Von entscheidender Bedeutung für die Lebensdauer von Multilayeraktoren im dynamischen Betrieb ist, zur Erzielung hoher Zyklenzahlen und hoher Zuverlässigkeit, die elektrische Außenkontaktierung. Multilayeraktoren aktueller Bauform enthalten mehrere Hundert Innenelektroden, die üblicherweise durch Siebdruck einer Silber-Palladium-Paste und anschließendes Cofiring mit den Keramikschichten erzeugt werden. Diese Innenelektroden müssen zuverlässig und dauerhaft mit dem externen elektrischen Anschluß verbunden werden.

Die aus der DE 196 46 676 C1 bekannte Kontaktierungslösung erfolgt durch Einbringung von Isolationszonen in den Aktor mittels eines speziellen Innenelektrodenlayouts. In diesen Isolationszonen können die Innenelektroden gleicher Polarität separat durch eine vertikale, streifenförmige Außenmetallisierung miteinander verbunden werden. Diese Metallisierungsbahnen werden meistens noch mit einer Weiterkontaktierung, beispielsweise seitlich am Stapel überstehende Kontaktfahnen, und/oder weiteren Anschlußelementen versehen, um die Außenkontaktierung des Aktors zu vervollständigen.

In den piezoelektrisch inaktiven Isolationszonen, die bisher in den Multilayeraufbau eingebracht werden, entstehen bei Ansteuerung des Piezoaktors mechanische Spannungen, die besonders im dynamischen Betrieb zu Delaminationsrisiken und im weiteren Verlauf zu Kontaktunterbrechungen führen. Eine sukzessive Verringerung der erreichten Auslenkung bzw. ein kompletter Ausfall des Aktors ist die Folge.

Ein Piezoaktor nach dem Oberbegriff von Anspruch 1 ist beispielsweise in der US 4,845,399 beschrieben. Dort sind außen am Aktor-Stapel die Innenelektroden durch stromlose Metallabscheidung unter Ausbildung erhabener horizontaler Metallisierungslinien verstärkt. Die Kontaktierung der Metallisierungslinien erfolgt durch im wesentlich vertikal verlaufende Anschlußbändchen oder -drähte, die seitlich am Stapel aufgebracht sind. Diese Anschlußbändchen oder -drähte können auch horizontale Abschnitte aufweisen oder einen zickzackförmigen oder wellenartigen Verlauf besitzen.

Ein Piezoaktor ist aus JP-A-6-232466 bekannt. Ein elektrostriktiver Aktor mit seitlich aufgetragenen horizontalen Metallisierungslinien ist aus JP-A-4-287984 bekannt.

Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, einen hinsichtlich der geschilderten Problematik verbesserten Piezoaktor der eingangs genannten Art und ein Verfahren zu seiner Herstellung bereitzustellen.

Erfindungsgemäß wird dieses Ziel bei einem Piezoaktor der eingangs genannten Art dadurch erreicht, daß die Elektroden-schichten sich isolationszonenfrei über den gesamten Stapelquerschnitt bis zu den seitlichen Oberflächen des Stapels erstrecken, daß jede Metallisierung mit einem horizontal über einen Teil einer Seite des Stapels und seitlich darüber hinaus verlaufenden Kontaktierungsdraht verbunden ist, und daß die Enden der seitlich überstehenden Bereiche der zu Elektroden-schichten gleicher Polarität gehörenden Kontaktierungsdrähte mit einem gemeinsamen Anschlußelement mechanisch und elektrisch verbunden sind.

Durch ein Innenelektrodenlayout ohne inaktive Isolationszonen kann demnach erfindungsgemäß die Entstehung inhomogener mechanischer Spannungen im Aktor weitgehend verhindert werden. Die Möglichkeit zur separaten Kontaktierung jeder einzelnen Innenelektrode an der Aktoroberfläche wird durch horizontale, hinsichtlich elektrischer Überschlüsse ausreichend zueinander beabstandete Einzelmetallisierungen geschaffen.

Die mechanische und elektrische Verbindung zwischen den horizontal angeordneten Metallisierungspunkten oder einer horizontalen Metallisierungslinie und den typischerweise stiftförmigen Anschlußelementen kann je nach den Gegebenheiten unterschiedlich vorgenommen werden. Eine für viele Anwendungssituationen vorteilhafte Anschlußkonfiguration wird dadurch erreicht, daß die Elektroden-schichten unterschiedlicher Polarität durch Metallisierungen kontaktiert sind, die auf zwei gegenüberliegenden Seiten des Stapels aufgebracht sind, so daß auf jeder dieser Seiten nur jede zweite Elektroden-schicht kontaktiert ist. Zum Auffangen mechanischer Spannungen erweist sich dabei besonders die erfindungsgemäße Konfiguration mit den seitlich überstehenden Kontaktierungsdrähten als vorteilhaft, bei der zu einer Polarität gehörende Kontaktierungsdrähte mit einem gemeinsamen Anschlußelement verbunden sind. Die Kontaktierungsdrähte können insbesondere an zwei gegenüberliegenden Seiten in entgegengesetzte horizontale Richtungen parallel übereinander bis zu vertikal angeordneten Anschlußstiften weitergeführt sein.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Herstellung eines derartigen Piezoaktors umfaßt das Aufbringen horizontal verlaufender separierter metallischer Metallisierungspunkte oder Metallisierungslinien auf jede der sich bis zu den seitlichen Oberflächen des Stapels erstreckenden Elektroden-schichten mittels Siebdruck und anschließendem Einbrand.

Die Erfindung wird nachfolgend an einem Ausführungsbeispiel anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigt Fig. 1 einen erfindungsgemäßen Piezoaktor mit Außenkontaktierung in einer Seitenansicht,

Fig. 2 einen Piezoaktor gemäß dem Stand der Technik mit

Isolationszonen,

**Fig. 3** den Aktor gemäß **Fig. 1** in einer Ansicht von oben, **Fig. 4** in einem Ausschnitt die Verbindung zwischen Kontaktierungsdrähten und den mit Metallisierungslinien versehenem Aktor gemäß **Fig. 1** in Schnittdarstellung.

**Fig. 1** zeigt beispielhalber einen Stapel **1**, dessen nur in **Fig. 4** erkennbare, mit horizontalen Metallisierungen **2** versehene Elektroden-schichten **3** und **5** mit horizontalen Kontaktierungsdrähten **4** verbunden sind. An der dem Betrachter zugewandten Seite des Stapels **1** sind alle Elektroden-schichten **3** gleicher Polarität, also nur jede zweite Schicht im Stapel **1**, über die einzelnen Kontaktierungsdrähte **4** kontaktiert, die wie erkennbar, über den rechten Rand des Stapels **1** hinaus weitergeführt und mit einem ersten senkrechten Anschlußstift **6** verbunden sind. Analog sind auf der vom Betrachter abgewandten Seite des Stapels **1** die Elektroden-schichten **5** gemeinsamer, aber der der Vorderseite entgegengesetzter Polarität durch parallel übereinander verlaufende Kontaktierungsdrähte **4** bis zu einem links neben dem Stapel **1** angeordneten zweiten senkrechten Anschlußstift **7** weitergeführt. Insgesamt ergibt sich eine entfernt einer Harfe ähnelnde Anschlußkonfiguration.

**Fig. 2** zeigt einen bekannten, aus zahlreichen Keramik-schichten **8** und Elektroden-schichten **3** und **5** aufgebauten Stapel **1**. Erkennbar sind die inaktiven Isolationszonen **9**, die abwechselnd in gegenüberliegenden Ecken der aufeinander folgenden, hier sich nicht über den gesamten Stapelquerschnitt erstreckenden Elektroden-schichten **3** und **5** angeordnet sind. Dieser Aufbau ermöglicht, wie dargestellt, den gemeinsamen Anschluß aller Elektroden-schichten **3** gleicher Polarität durch ein vertikales Metallisierungsband **10**, das gegebenenfalls durch eine seitlich überstehende Kontaktfahne **11** weiterkontaktierbar ist.

**Fig. 3** zeigt den Stapel **1** mit seitlich beabstandeten, sich diametral gegenüberstehenden Anschlußstiften **6** und **7**. Etwaige Dehnungen, Schwingungen etc. am Stapel **1** werden in den Kontaktierungsdrähten **4** abgebaut.

**Fig. 4** zeigt im Ausschnitt und in Schnittdarstellung die Ausführungsform gemäß **Fig. 1** und **3**, bei der an zwei Seiten – und deshalb an jeder Seite jeweils nur jede zweite Elektroden-schicht, z. B. **3** – einzeln kontaktiert wird. Diese Variante erfordert eine Erhöhung des bisherigen Innenelektrodenabstandes von 80 µm auf 200 µm. Bei einseitig kontaktierten Stapeln wäre demnach ein Innenelektrodenabstand gleicher Polarität von ca. 400 µm erforderlich. In jedem Fall lassen sich Metallisierungspunkte oder -linien auf einem gewünschten Teilbereich jeder Elektroden-schicht, genauer: auf die an die seitlichen Oberflächen des Stapels **1** anstoßende Außenkante der Elektroden-schichten **3** und **5**, mittels Siebdruck und anschließendem Einbrand realisieren. Diese ausreichend beabstandeten Metallisierungen bleiben auch bei Feldstärken um 2 kV/mm streng separiert. Typische Abmessungen einer solchen Metallisierungslinie sind 60 µm Breite und 4 mm Länge. Die Kontaktierungsdrähte **4** weisen einen Durchmesser von typischerweise 0,05 mm auf. Die Dicke der Elektroden-schichten **3** und **5** beträgt z. B. 0,003 mm.

Mit dem erhöhten Innenelektrodenabstand geht eine verringerte Anzahl von Keramikschichten bzw. eine erhöhte Dicke derselben einher. Dies führt zwar zu einer höheren Spannung, die für ein Ansprechen der mit größerer Dicke als bisher verwendeten Keramikschichten erforderlich ist. Unter Kostengesichtspunkten ist jedoch die Verringerung des insgesamt notwendigen Innenelektrodenmaterials (Ag-Pd) wesentlicher.

Auf den beiden Seiten des Stapels **1** kann jede derart kontaktierte, also jede zweite, Elektroden-schicht **3** bzw. **5** einzeln mit einem der parallel laufenden Kontaktierungsdrähte

**4** in einem Lötprozess (Bügellötanlage oder Laserlötanlage) verbunden werden. Es lassen sich demnach hinsichtlich Lebensdauer und Zuverlässigkeit optimierte Multilayeraktoren großserientauglich fertigen.

#### Patentansprüche

1. Piezoaktor in Vielschichtbauweise, bei dem piezoelektrische Keramikschichten (**8**) und Elektroden-schichten (**3**, **5**) alternierend übereinander zu einem Stapel (**1**) angeordnet sind, und bei dem die Elektroden-schichten (**3**, **5**) zur elektrischen Kontaktierung in alternierender Polarität mit seitlich am Stapel (**1**) aufgebrauchten Metallisierungen (**2**) verbunden sind, die wiederum elektrisch leitend mit einer Weiterkontaktierung verbunden sind, bei dem für jede Elektroden-schicht (**3**, **5**) separat eine horizontale, an der jeweiligen Elektroden-schicht (**3**, **5**) mindestens über einen Teil des Stapelumfanges entlanglaufende Metallisierung (**2**) aufgebracht ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Elektroden-schichten (**3**, **5**) sich isolationszonenfrei über den gesamten Stapelquerschnitt bis zu den seitlichen Oberflächen des Stapels (**1**) erstrecken, daß jede Metallisierung (**2**) mit einem eigenen, horizontal über einen Teil einer Seite des Stapels (**1**) und seitlich darüber hinaus verlaufenden Kontaktierungsdraht (**4**) verbunden ist, und daß die Enden der seitlich überstehenden Bereiche der zu Elektroden-schichten (**3**, **5**) gleicher Polarität gehörenden Kontaktierungsdrähte (**4**) mit einem gemeinsamen Anschlußelement mechanisch und elektrisch verbunden sind.

2. Piezoaktor nach Anspruch 1, bei dem die Metallisierung (**2**) als horizontal nebeneinander angeordnete Metallisierungspunkte oder horizontal verlaufende Metallisierungslinie aufgebracht ist.

3. Piezoaktor nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Elektroden-schichten (**3**, **5**) unterschiedlicher Polarität durch Metallisierungen (**2**) kontaktiert sind, die auf zwei gegenüberliegenden Seiten des Stapels (**1**) aufgebracht sind, so daß auf jeder dieser Seiten nur jede zweite Elektroden-schicht (**3**, **5**) kontaktiert ist.

4. Piezoaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem an einer Seite des Stapels (**1**) die überstehenden Enden der horizontalen Kontaktierungsdrähte (**4**) parallel zueinander bis zu einem ersten vertikalen Anschlußstift (**6**) geführt und mit diesem elektrisch verbunden sind, während an der gegenüberliegenden Seite des Stapels (**1**) die Kontaktierungsdrähte (**4**) in gleicher Weise, jedoch in entgegengesetzte horizontale Richtung, zu einem zweiten vertikalen Anschlußstift (**7**) geführt und mit diesem elektrisch verbunden sind.

5. Verfahren zur Herstellung eines Piezoaktors nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem horizontal verlaufende separierte metallische Metallisierungspunkte oder Metallisierungslinien (**2**) auf jede der sich bis zu den seitlichen Oberflächen des Stapels (**1**) erstreckenden Elektroden-schichten (**3**, **5**) mittels Siebdruck und anschließendem Einbrand aufgebracht werden und bei dem die aufgebrauchten und eingebrannten Metallisierungen (**2**) in einem Lötprozess mit jeweils einem der parallel übereinander verlaufenden Kontaktierungsdrähte (**4**) so verbunden werden, daß sie seitlich des Stapels überstehen.

- Leerseite -

FIG 1

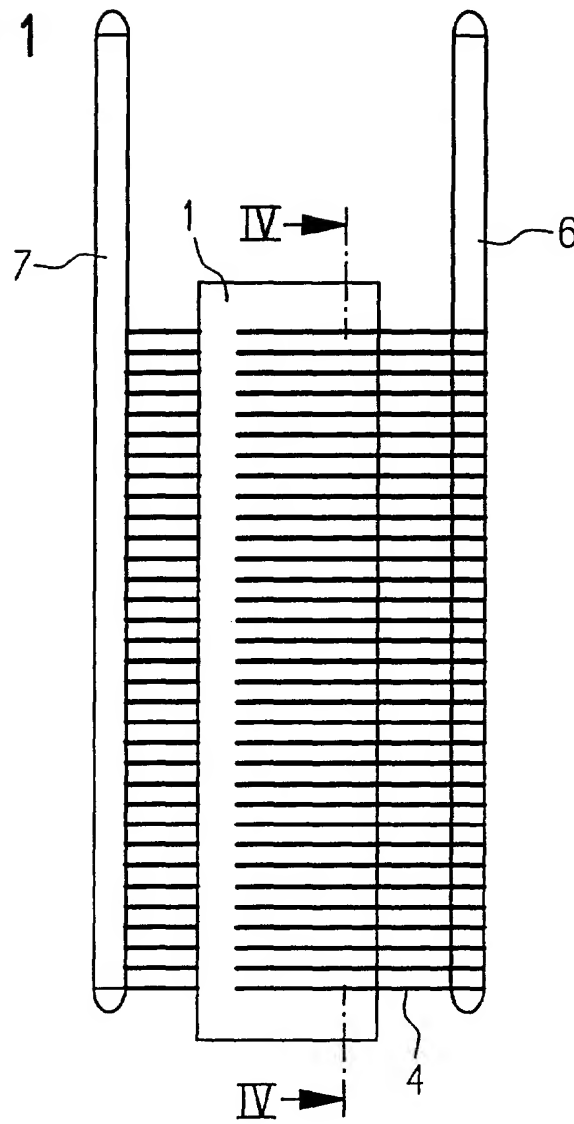


FIG 3

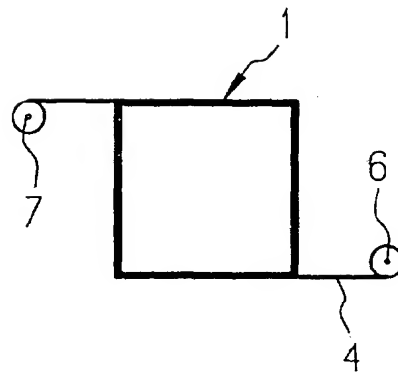


FIG 2

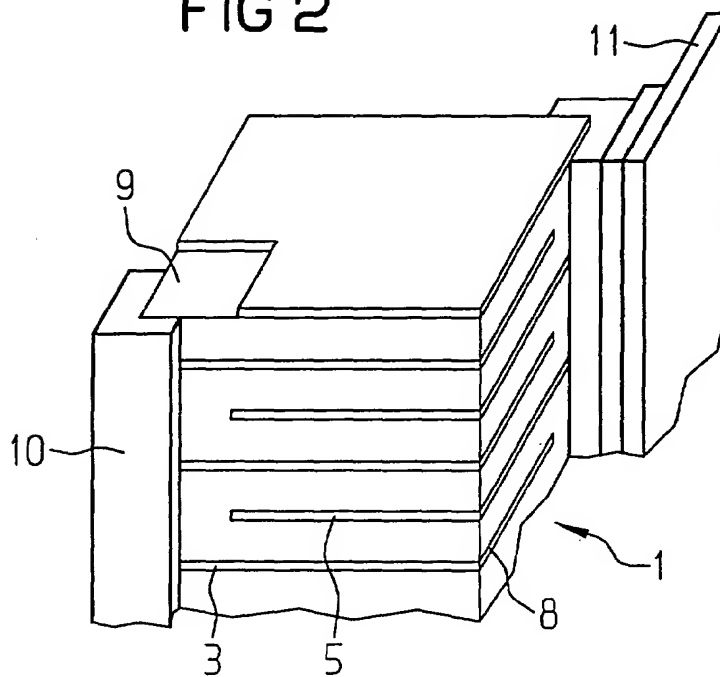


FIG 4

